

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль 03.06.01 Физика и астрономия / 01.04.17 Химическая физика,  
горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества

Школа Инженерная школа энергетики

отделение Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
<b>Исследование процессов термического разложения, зажигания и горения высокоэнергетических материалов, содержащих порошки биметаллов</b>

УДК 622.7:62-419.4-492.2

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A7-13	Сорокин Иван Викторович		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Стрижак П.А.	д. ф.-м. н., профессор		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель научно- образовательного центра И.Н. Бутакова на правах кафедры	Заворин А.С.	д.т.н., профессор		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ И.Н. Бутакова	Коротких А.Г.	д. ф.-м. н. доцент		

Томск – 2021 г.

В работе проведено экспериментальное исследование характеристик окисления биметаллических порошковых систем, разложения и зажигания высокоэнергетических материалов (ВЭМ), содержащих окислитель, горючее связующее вещество (ГСВ) и биметаллические энергоемкие горючие. Актуальность исследования обусловлена поиском перспективного энергоемкого горючего на основе бора и металла, снижающего накопление жидкого оксидного слоя  $B_2O_3$  на поверхности частиц бора, увеличивающего теплоту и полноту сгорания, и стимулирующее воспламенение, горение биметаллических соединений в составе ВЭМ. В работе решена задача по определению закономерностей окисления биметаллических порошковых систем на основе бор/металл, боридов алюминия и титана, а также характеристик и констант формальной кинетики зажигания ВЭМ, содержащих перхлорат и нитрат аммония, горючее связующее вещество, порошок биметалла, при лучистом нагреве. Для решения поставленной задачи в работе использованы биметаллические соединения на основе бора и алюминия (Al-Me, Al-B) в виде порошков сплавов или механосмесей разной дисперсности и твердотопливные ВЭМ на их основе.

Цель работы является определение параметров окисления биметаллических порошковых систем и характеристик зажигания ВЭМ, содержащих металлические горючие, при лучистом нагреве.

В качестве объектов исследования использовались нано- и микроразмерные порошки металлов (Al, Fe, Ni, Ti) и аморфного бора, порошковые системы из двух компонентов металлов (биметаллы) или бора (бориды металлов), а также отвержденные образцы ВЭМ на основе окислителя (перхлорат и нитрат аммония), ГСВ (бутадиеновый и тетраэольный каучук) и металлического горючего.

Основные результаты диссертационного исследования:

1. Выполнен термодинамический расчет характеристик горения трех модельных составов ВЭМ, содержащих биметаллические горючие, при давлении в камере сгорания 4 МПа с целью определения характеристик КПГ, теоретического удельного импульса двигателя и массового компонентного содержания топливных и биметаллических систем. На отобранных составах ВЭМ

проведены экспериментальные исследования процессов термического разложения и зажигания топлив.

2. В рамках термодинамического расчета характеристик горения модельного состава ВЭМ на основе 64.6 масс. % ПХА, 19.7 масс. % бутадиенового каучука и 15.7 масс. % биметаллического горючего установлено, что при соотношении элементов  $Al/B = 55.5/44.5$  значение теоретического удельного импульса двигателя составляет 2584 м/с при давлении в камере сгорания 4 МПа, что на 2 м/с выше значения удельного импульса состава ВЭМ с алюминием.

3. Для модельного состава ВЭМ на основе 18 масс. % ПХА, 42 масс. % НА, 25 масс. % тетразольного каучука и 15.0 масс. % биметаллического горючего при массовом соотношении  $Al/B=67/33$  значение теоретического удельного импульса двигателя составляет 2679 м/с, что на 11 и 73 м/с больше значений удельного импульса составов ВЭМ с алюминием и бором, соответственно.

4. Методами ТГ и ДСК термического анализа установлено, что при использовании биметаллического горючего на основе механосмеси УДП алюминия Alex и железа с массовым соотношением  $Al/Fe=87/13$  в составе ВЭМ на основе ПХА и бутадиенового каучука температура интенсивного разложения снижается на 48 °С, а максимальная скорость разложения компонентов топлива увеличивается на 6.5 мкг/с в диапазоне температур 300–314 °С при нагреве в инертной среде за счет каталитического взаимодействия ПХА и образующегося оксида железа.

5. В ходе экспериментального исследования процесса зажигания при лучистом нагреве ВЭМ, содержащих биметаллические горючие, определены характеристики зажигания твердых топлив и рассчитаны кинетические параметры на основе твердофазной модели зажигания. Показано, что при использовании биметаллических горючих на основе смеси УДП алюминия Alex и бора с массовым соотношением  $Al/B=68/32$ , УДП алюминия Alex и железа –  $Al/Fe = 87/13$ , УДП титана и бора –  $Ti/B = 69/31$  в составе ВЭМ, содержащем ПХА и бутадиеновый каучук, времена задержки зажигания топлив снижаются в 1.5–2.1,

1.4–1.9 и 1.8–1.9 раза, соответственно, в диапазоне плотности теплового потока  $q = 60\text{--}220 \text{ Вт/см}^2$  по сравнению с ВЭМ, содержащим алюминий.

6. При использовании синтезированных порошков боридов алюминия  $\text{AlB}_2$  и  $\text{AlB}_{12}$  в составе ВЭМ на основе ПХА, НА и тетраэзольного каучука времена задержки зажигания снижаются на 42–52 % и 48–51 %, соответственно, в диапазоне плотности теплового потока  $q = 90\text{--}200 \text{ Вт/см}^2$  по сравнению с ВЭМ, содержащим алюминий.